

**Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio.**

**Marby Lizeth Cardozo Sánchez**

**Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniera Ambiental**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente**

**ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Bogotá**

**2020**

**Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleóptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio.**

**Marby Lizeth Cardozo Sánchez**

**Trabajo de grado en la modalidad investigación**

**Director: msc. Graciela Garzón Marín**

**Codirector: phd. Jordano Salamanca Bastidas**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente**

**ECAPMA**

**Ingeniería Ambiental**

**Bogotá**

**2020**

### **Nota de advertencia**

Artículo 23 de la resolución no. 13 de julio de 1946: “la universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus tesis de grado

## **Dedicatoria**

*A mi madre Dolores Sánchez Feria por su amor e incondicional apoyo.*

## **Agradecimientos**

*A Dios padre por todas las bendiciones que me ha brindado en este proceso y en cada paso que doy.*

*A mi directora de proyecto Graciela Garzón por su apoyo en la elaboración de este proyecto.*

*A los profesores de la Universidad Abierta y a Distancia de Bogotá quienes con sus conocimientos y lineamientos aportaron en mi desarrollo y formación académica y profesional.*

*A mi familia que siempre me ha impulsado para superarme como persona y como profesional.*

## Tabla de contenido

Resumen .....	11
Abstract.....	12
1. Introducción.....	13
2. Objetivos.....	15
2.1. Objetivo general.....	15
2.2. Objetivos específicos .....	15
3. Marco teórico .....	16
3.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS.....	16
3.2. Poliestireno expandido .....	17
3.3. Mecanismos biológicos .....	18
3.4. <i>Tenebrio molitor</i> .....	19
3.5. Muestra.....	19
3.6. Tipos de muestra.....	20
4. Metodología.....	21
4.1. Sitio de estudio.....	21
4.2. Obtención de larvas de <i>Tenebrio molitor</i> .....	21
4.3. Capacidad de consumo.....	21
4.4. Capacidad de biodegradación.....	22
4.5. Análisis estadístico .....	23
5. Resultados .....	24

5.1. Capacidad de consumo .....	24
5.2. Capacidad de biodegradación.....	26
6. Discusión .....	29
7. Conclusiones .....	33
8. Recomendaciones .....	34
9. Referencias.....	35
10. Anexos .....	40

## Lista de figuras

Figura 1. Larva, pupa y adulto de <i>Tenebrio molitor</i> .....	19
Figura 2. Pesaje del poliestireno expandido para los tratamientos y sus réplicas .....	21
Figura 3. Montaje de tratamientos en cajas petri .....	22
Figura 4. Larvas de <i>Tenebrio molitor</i> consumiendo poliestireno expandido.....	22
Figura 5. Residuos de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> .....	23
Figura 6. Consumo de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> t1 y t2.....	24
Figura 7. Consumo tratamientos 3 y 4 de poliestireno expandido .....	25
Figura 8. Consumo de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> (coleóptera: tenebrionidae). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos kruskal-wallis ( $\alpha = 0.05$ ). La curva en azul muestra la regresión cuadrática del comportamiento de consumo de <i>Tenebrio molitor</i> .26	
Figura 9. Datos de biodegradación poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> . ....	27
Figura 10. Biodegradación de poliestireno expandido por larvas de <i>Tenebrio molitor</i> (coleóptera: tenebrionidae). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos kruskal-wallis ( $\alpha$ = 0.05). La curva en azul muestra la regresión cuadrática del comportamiento de consumo de <i>Tenebrio</i> <i>molitor</i> .....	28



## Lista de tablas

Tabla 1. Resultados del efecto del tratamiento (#larvas de <i>Tenebrio molitor</i> ) sobre el consumo del poliestireno expandido en condiciones de laboratorio .....	241
Tabla 2. Resultados del efecto del tratamiento (#larvas de <i>Tenebrio molitor</i> ) sobre la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones de laboratorio .....	272

## **Lista de anexos**

Anexo 1. Formato de toma de datos. ....	40
Anexo 2. Registro fotográfico.....	40

## Resumen

El poliestireno expandido es un polímero termoplástico a base de petróleo que se obtiene de la polimerización del estireno, es difícil de degradar, lo que lo convierte en un principal contaminante de ríos, lagos y océanos; sin embargo, en estados unidos y países de Europa, y Asia se encontró que podía ser biodegradado por mecanismos biológicos específicamente por larvas de insectos de orden coleóptera, donde se destaca el *Tenebrio molitor* más conocido como el gusano de harina. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de consumo y biodegradación del poliestireno expandido (PE) por larvas de *Tenebrio molitor* 1. (coleóptera tenebrionidae) en condiciones de laboratorio. Específicamente 1) se cuantificó la capacidad de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*. 2.) Se cuantificó la capacidad de biodegradación del poliestireno expandido con larvas de *Tenebrio molitor*. Para cuantificar la capacidad de consumo se implementó un diseño completamente al azar en 4 tratamientos (T1-10 larvas , T2-20 larvas, T3-30 larvas, T4-40 larvas) cada uno con 5 réplicas, sobre 500 mg de PE y se tomaron datos una vez por semana. Para cuantificar la biodegradación se tomó el peso del excremento de las larvas en cada tratamiento una vez por semana. Como resultado se obtuvo la diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ) con las larvas de *Tenebrio molitor* para el consumo y la biodegradación, evidenciando la efectividad del tratamiento 3, y comprobando que el número de larvas no determina la cantidad de consumo y biodegradación. En conclusión, *Tenebrio molitor* puede ser considerado para biodegradar el poliestireno expandido a pequeña escala.

Palabras claves: medio ambiente, cambio climático, sostenibilidad, residuos sólidos, contaminación.

## Abstract

Expanded polystyrene is an oil - based thermoplastic polymer obtained from styrene polymerization and is difficult to degrade, making it a major pollutant of rivers, lakes and oceans; however in countries and continents like Europe, the united states and Asia it was found that it could be biodegraded by biological mechanisms, specifically by insect larvae of the coleoptera order, where the *Tenebrio molitor* is highlighted best known as the flour worm; so this work aims to evaluate the consumption and biodegradation capacity of expanded polystyrene (pe) by larvae of *Tenebrio molitor* (coleoptera tenebrionidae) under laboratory conditions. 1) it was quantified capacity of expanded polystyrene by larvae of *Tenebrio molitor* could be quantified. 2.) It was quantified biodegradation capacity of expanded polystyrene with *Tenebrio molitor* larvae will be quantified. To quantify consumption capacity, a completely random design was implemented by 4 treatments (T1-10, T2-20,T3-30,T4-40) each with 5 replicates, about 500 mg of PE and data were taken once a week. To quantify biodegradation, the weight of larvae droppings was taken in each treatment once a week. As a result, the significant difference between treatments with *Tenebrio molitor* larvae was obtained for consumption and biodegradation, demonstrating the effectiveness of treatment 3, and verifying that the number of larvae does not determine the amount of consumption and biodegradation. In conclusion *Tenebrio molitor* can be considered to biodegrade expanded polystyrene on a small scale.

Key words: environment, climate change, sustainability, solid waste, pollution.

## **Introducción**

Según (Escobar, 2000) los residuos sólidos son una problemática ambiental constante y creciente a nivel mundial ya que es equivalente al aumento de la población. Son generados por actividades antrópicas asociadas a los sectores: agropecuario, construcción, salud, industria, e inclusive desde los hogares, es decir, que el hombre es el primer responsable de la contaminación ambiental en el planeta por residuos sólidos tanto en el entorno rural como urbano.

Los residuos sólidos generados son una carga para el medio ambiente debido a su acumulación e inadecuada disposición causando contaminación en las fuentes hídricas, generando obstrucción en el sistema de alcantarillado lo que a su vez provoca inundaciones en zonas urbanas, desplazamiento y extinción de fauna local, suelos cada vez menos fértiles, entre otros efectos negativos. Los residuos sólidos pueden ser degradados directamente dependiendo de su composición, ya sea física o químicamente, también pueden ser reciclados y reutilizados en otros procesos o como material de otros productos.

Según (Gudiño, 2017), el poliestireno expandido es uno de estos residuos contaminantes que puede ser reutilizado pero que a la fecha no es posible degradar y aun así sigue siendo el que más demanda tiene gracias a que es muy ligero. El poliestireno expandido es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimeración del estireno el cual puede ser deformable o flexible, presenta una estructura celular cerrada y llena de aire, por lo general es utilizado en diferentes aplicaciones como el embalaje de componentes eléctricos, empaques de comida, o como aislante térmico y acústico; los diferentes productos elaborados con este compuesto son resistentes a la humedad, grasas, ácidos y químicos; su uso se limita a una sola vez y su disposición final es en los rellenos sanitarios o en las fuentes hídricas y pueden permanecer en el ambiente hasta 500 años.

Debido a ello la idea de utilizar un mecanismo biológico para la degradación del poliestireno expandido es más viable y eficiente; “*el término biodegradación en el campo de los polímeros hace referencia al ataque de microorganismos a estos materiales, proceso a través del cual se obtiene la desintegración del polímero en pequeños fragmentos debido a la ruptura de enlaces en su cadena principal*”, (Valero Valdivieso et al, 2013). Estudios realizados por científicos de la universidad Stanford de california confirman que la clave está en los *Tenebrios* ya que sus larvas se alimentan de espuma de poliestireno expandido transformándolo en CO<sub>2</sub> y fragmentos biodegradados, (Flores et al, 2016).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad de consumo y biodegradación del poliestireno expandido (PE) por larvas de *Tenebrio molitor* (coleóptera tenebrionidae) en condiciones de laboratorio y aborda la hipótesis que las larvas de *Tenebrio molitor* (coleóptera: tenebrionidae) consumen y biodegradan el poliestireno expandido (PE) en condiciones de laboratorio.

## Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de consumo y biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* en condiciones de laboratorio.

### 2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la capacidad de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*.
- Cuantificar la capacidad de biodegradación del poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*.

## Marco teórico

### 3.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS

*“Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) se gestaron en la conferencia de las naciones unidas sobre el desarrollo sostenible, celebrada en río de janeiro en 2012”* (PNUD, 2020). El propósito fue crear un conjunto de objetivos mundiales que se relacionaran entre sí y cuyo desarrollo permitiera un equilibrio entre los sectores de sostenibilidad medio ambiental, económico y social, pese a ello, en el país hay actividades que no están comprometidas con los objetivos lo cual altera el equilibrio planteado.

Según (Pérez, 2002), Colombia es uno de los países del mundo con mayor riqueza de recursos naturales al poseer en su territorio del 10% de la flora y fauna mundiales, el 20% de las especies de aves del planeta, 1/ 3 de las especies de primates de américa tropical, más de 56.000 especies de plantas fanerógamas registradas y cerca de mil ríos permanentes.

Sin embargo, esta biodiversidad no está exenta de los cambios generados por los factores climáticos a nivel global que son causados no solo por diferentes acciones naturales sino también humanas. Según (Espinoza, 2001) los impactos afectan tanto los ambientes naturales como los que tienen intervención y creación humana, suelen ser cambios de temperatura, lluvias acidas, derretimiento de los polos, entre otras, y a esto se le suma la contaminación ambiental por residuos sólidos, los cuales *“podemos clasificar de dos tipos: los generados por la propia actividad humana, sobre todo en las grandes ciudades, a los que llamaremos residuos urbanos, y los producidos por la actividad industrial, a los que llamaremos residuos industriales,* (Sans & Ribas , 1989).



Es por esta razón que se han implementado estrategias para el manejo de los residuos sólidos en la industria que son la fuente generadora principal, así como también se han lanzado campañas en contra de estos contaminantes especialmente en los océanos *“el programa de las naciones unidas para el medio ambiente alerta sobre las consecuencias de contaminar nuestros océanos con plásticos y asegura que más de 8 millones de toneladas de plástico terminan en los océanos cada año”*, (ONU, 2017). La preocupación que existe a nivel mundial por los grados de contaminación asociada a los residuos plásticos y la presencia de componentes nocivos en el medio ambiente ya sean químicos, físicos o biológicos es generada por actividades antrópicas ejercidas por el hombre como la emisión de gases contaminantes por el transporte público, explotación de recursos naturales en exceso, agricultura, deforestación, ampliación en obras civiles entre otras. La contaminación hídrica y del aire es reconocida por los estudiantes como la principal problemática ambiental del país, (Hernández, 2015).

### **3.2 Poliestireno expandido**

El poliestireno expandido (PE) es un material utilizado en el sector de envasado y embalaje debido principalmente a sus excelentes cualidades para la protección contra impactos y sus propiedades de aislamiento térmico, así como por su ligereza y facilidad de conformado que le permiten adaptarse a las necesidades de cada producto a proteger, también se utiliza por la comunidad en general para empaques de alimentos. El PE es un material plástico fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas, que derivan del petróleo, mayoritariamente como subproducto, entre los cuales también se encuentran el etileno, estireno y diversos compuestos aromáticos. Este estireno monómero junto con el agente expansor sufre un proceso de polimerización dando lugar al poliestireno expandible. El consumo mundial de pe para el año 2017 estuvo representado

principalmente por el noreste de Asia con cerca del 50%, seguido de Europa oriental, Europa central y el medio este, de este modo, el consumo global de pe en aplicaciones de embalaje es el segundo mayor mercado de uso final, representa el 35% de la demanda de pe a partir de 2017 y ya excede los 3 millones de toneladas con un incremento del 6% anual, (Peña, 2018).

### **3.3 Mecanismos biológicos**

Según, (Rojas, 2017) cada especie acude a una serie de cambios al pasar de generación a generación y se debe a que los genes mutan, los individuos se seleccionan o las poblaciones evolucionan, es así como estos cambios le permiten a un organismo adaptarse mejor a su entorno ayudándole a sobrevivir, inclusive a factores que contaminan su entorno. *‘los mecanismos biológicos, en cambio, han venido forjándose a través de la evolución por selección natural y del desarrollo’*, (Alfonso, 2013).

El PE es un producto muy resistente, por lo tanto, encontrar estrategias de biodegradación con insectos omnívoros es cada vez más estudiado a nivel mundial, (Yang et al, 2018). El PE es un producto que presenta una degradación lenta, por lo que ha generado controversia entre los ambientalistas por su alto grado de contaminación en el medio ambiente, (Kilic, 2018), especialmente en los canales de agua, incrementando la contaminación en el océano pacifico, (Kwon, 2014).

El PE por ser un material difícil de degradar entre otros productos derivados del petróleo como el plástico con métodos convencionales, permite implementar nuevos métodos asociados a la biorremediación, tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes y, por tanto, se puede utilizar

para limpiar terrenos o aguas contaminadas, (Glazer & Nikaido, 1995). Es por esta razón que los insectos de orden coleóptera han mostrado eficiencia en la biodegradación del poliestireno, donde se destaca *Tenebrio molitor*, (Bombelli et al, 2017).

### 3.4 *Tenebrio molitor*

Es un insecto de orden coleóptera de la familia tenebrionidae es de color castaño oscuro, casi negro, de aproximadamente 18 mm de largo y 4 mm de ancho; su cuerpo es compacto con bordes casi paralelos, (Reyes & Melendez, 2013).

Tanto las patas como las antenas presentan un color pardo más claro, siendo estas últimas muy cortas y con artejos engrosados. La larva es amarilla, cilíndrica y alargada, llegando a medir de 20 a 30 mm, con pequeñas patas torácicas, (Arias, 2018). Ver fig. 1.



**figura 1.** Larva, pupa y adulto de *Tenebrio molitor*. Fuente: autor

### 3.5 Muestra

Aleatoriamente se realiza la selección de los individuos de una población sobre los cuales se realizarán los estudios requeridos, en algunas ocasiones son necesarias características específicas dentro de esta selección con el fin de que el tipo de estudio realizado tenga el resultado esperado.

*“para que la muestra proporcione información sobre la población total, deberá ser, en algún sentido, representativa de dicha población”*, (Ross, 2018). Con la muestra se determina la proporcionalidad, la media o varianza.

### **3.6 Tipos de muestra**

De acuerdo con los resultados que se esperan, son implementados los muestreos probabilísticos y los no probabilísticas. Es seleccionado el muestreo probabilístico, cuando se requiere precisar el tamaño de la muestra y se seleccionan aleatoriamente, estratificadamente o por racimos. Y cuando es un muestro no probabilístico debe cumplir con la selección de la muestra individuo por individuo y con características no representativas de la población, (Hernández et al, 2014).

## Metodología

### 4.1. Sitio de estudio

La fase experimental y montajes del proyecto se desarrollaron en el laboratorio multipropósito 407 de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en la sede José Celestino Mutis, Bogotá d.c.

### 4.2. Obtención de larvas de *Tenebrio molitor*

Las larvas de *Tenebrio molitor* utilizadas para los tratamientos se obtuvieron de las crías de manutención presentes en el laboratorio multipropósito 407 de la universidad nacional abierta y a distancia, cuya dieta alimenticia se basa en harina, salvado de trigo y arroz.

### 4.3. Capacidad de consumo

Para cuantificar la capacidad de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* se realizó un diseño completamente al azar en el cual se seleccionaron las larvas con longitudes entre 14 a 20 mm aproximadamente para los 4 tratamientos con sus 5 réplicas respectivamente, en cada uno de ellos se dispuso de 500 mg de poliestireno expandido (ver fig. 2); el montaje de estos tratamientos se observa en la figura 3. Y se realizó la toma de datos una vez por semana durante seis meses.



**Figura 2.** Pesaje del poliestireno expandido para los tratamientos y sus réplicas. *Fuente: autor*



**Figura 3.** Montaje de tratamientos en cajas petri. *Fuente: autor*

Una vez por semana con una balanza de precisión se procedió a calcular el peso del poliestireno expandido con el fin de determinar la cantidad de consumo efectuado por la larva de *Tenebrio molitor*. El consumo de poliestireno expandido se observa en figura 4.



**Figura 4.** Larvas de *Tenebrio molitor* consumiendo poliestireno expandido. *Fuente: autor*

#### 4.4. Capacidad de biodegradación

Para cuantificar la capacidad de biodegradación de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* se trasladaron las larvas de *Tenebrio molitor* a una caja petri previamente acondicionada para que continuaran con el proceso de consumo, con el propósito de pesar el excremento de las larvas de *Tenebrio molitor* y así poder calcular la biodegradación obtenida, este proceso se realizó

cada semana durante seis meses. Los residuos del poliestireno expandido de las larvas se observan en la figura 5.



**Figura 5.** Residuos de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*. *Fuente: autor*

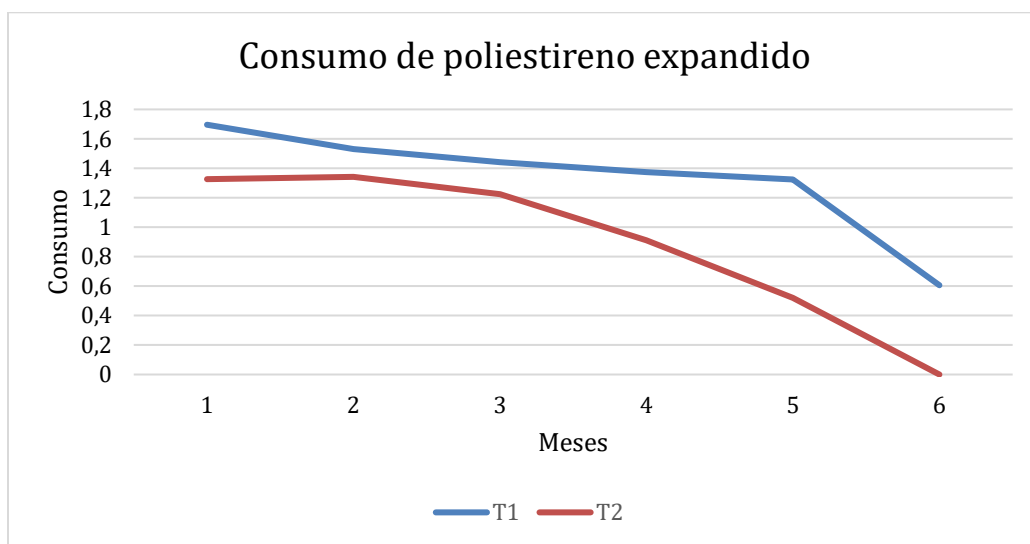
#### **4.5 Análisis estadístico**

Para conocer si los datos cumplieron la normalidad y homocedasticidad, se realizaron los análisis de shapiro–wilk, (shapiro & wilk, 1965) y Levene (“car” package in r) respectivamente. Los datos fueron analizados con r 3.3.1, (r development core team 2016). Para el consumo y la biodegradación el modelo incluyó “tratamientos” (#larvas de *Tenebrio molitor*). Cuando el tratamiento fue significativo, fue realizado el test de kruskal-wallis ( $\alpha = 0.05$ ) para determinar sus diferencias específicas. Posteriormente se realizó un análisis de regresión tanto para el consumo como para la biodegradación para conocer la influencia del número de larvas liberadas sobre el poliestireno expandido.

## Resultados

### 5.1 Capacidad de consumo

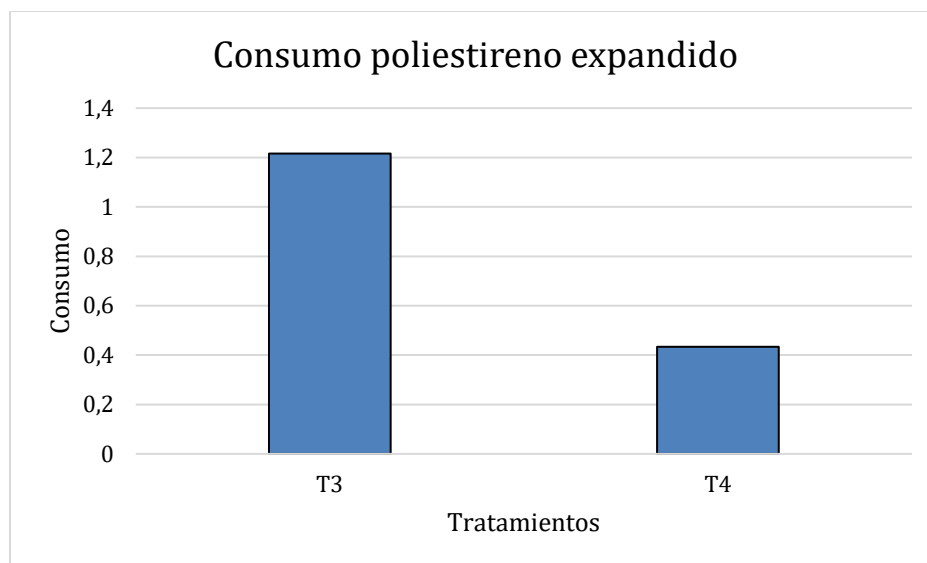
Los datos de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*, se tomaron durante seis meses, con un peso inicial de 0,50 gramos y se muestra en la figura 6 que los tratamientos 1 y 2, presentan un mayor consumo en el mes 1 y 2 respectivamente.



**Figura 6.** Consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* T1 y T2

Para los tratamientos T3 y T4 se relaciona el mes 1 con mayor consumo de poliestireno expandido, y se relacionan teniendo en cuenta la concentración en larvas de *Tenebrio molitor*, ver figura 7.





**Figura 7.** Consumo tratamientos 3 y 4 de poliestireno expandido

Las larvas de *Tenebrio molitor* presentaron un efecto significativo sobre el consumo del poliestireno expandido (tabla 1).

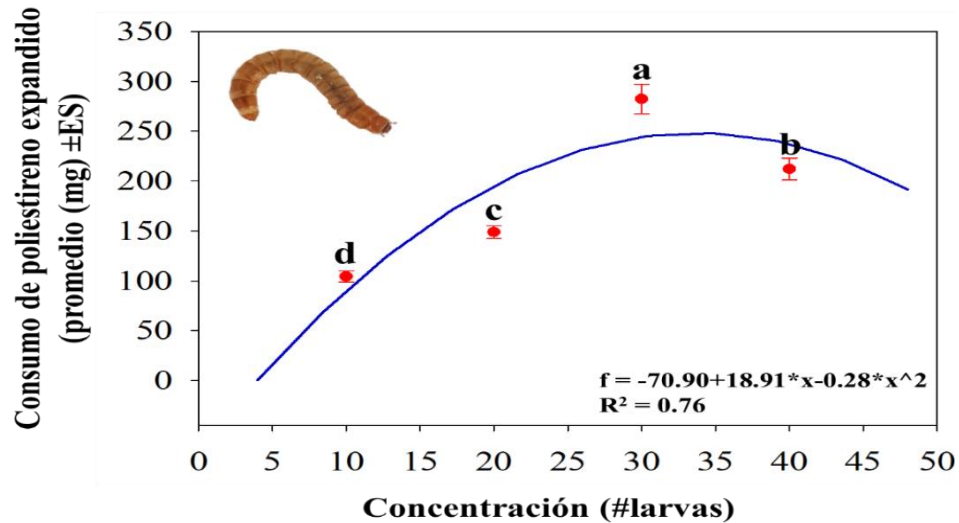
**Tabla 1.** Resultados del efecto del tratamiento (#larvas de *Tenebrio molitor*) sobre el consumo del poliestireno expandido en condiciones de laboratorio

Resultados kruskal - wallis				
	Variable	Gl	X <sup>2</sup>	P <sup>a</sup>
Consumo	Tratamientos	3	104.92	<b>&lt;0.001</b>

<sup>A</sup>Números en negrilla indican diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ).

Se cuantificó la capacidad de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*, según los resultados de la tabla 1, se evidencia que al tener una probabilidad de error menor al 0.001 el tratamiento 3 (30 larvas) fue el más efectivo, confirmando que hay diferencia significativa

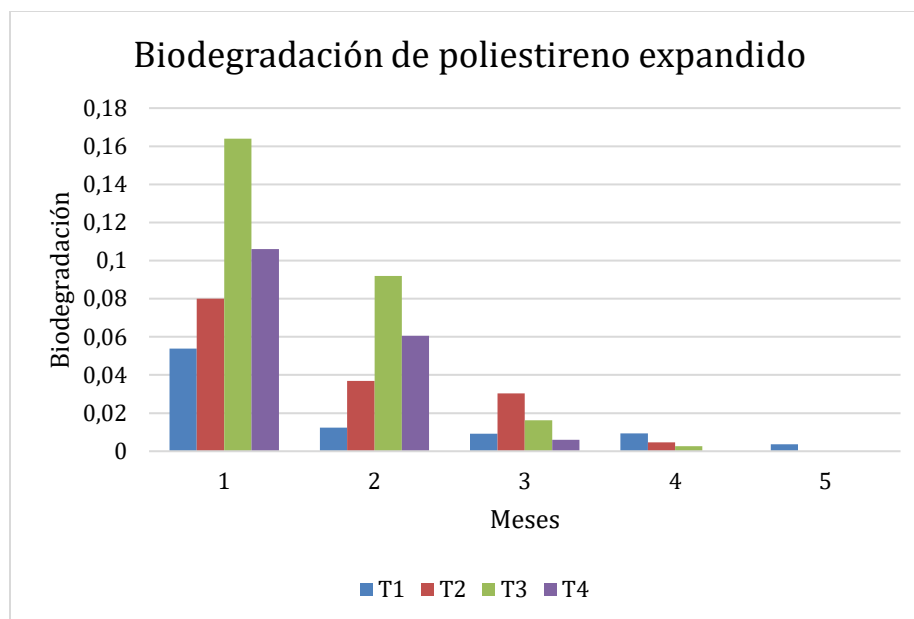
entre los tratamientos. Así mismo, se observa en la fig. 6 por medio de una regresión cuadrática la influencia del número de larvas sobre el consumo en cada tratamiento, donde afirma que el número de larvas determina la cantidad de consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*. Comprobando su confiabilidad en un 76 %.



**Figura 8.** Consumo de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* (coleóptera: tenebrionidae). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos kruskal-wallis ( $\alpha = 0.05$ ). La curva en azul muestra la regresión cuadrática del comportamiento de consumo de *Tenebrio molitor*.

## 5.2 Capacidad de biodegradación.

Los datos de biodegradación se tomaron durante seis meses, tomando el peso del excremento de la larva de *Tenebrio molitor*, y se muestra en la figura 9 que el tratamiento 3 presenta mayor biodegradación en los meses 1 y 2.



**Figura 9.** Datos de biodegradación poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*.

Las larvas de *Tenebrio molitor* presentaron un efecto significativo sobre la biodegradación del poliestireno expandido (tabla 2).

**Tabla 2.** Resultados del efecto del tratamiento (#larvas de *Tenebrio molitor*) sobre la biodegradación del poliestireno expandido en condiciones de laboratorio

Resultados kruskal - wallis				
	Variable	Gl	X <sup>2</sup>	P <sup>a</sup>
Biodegradación	Tratamientos	3	19.14	<0.001

<sup>a</sup>números en negrilla indican diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ).

Se cuantificó la capacidad de biodegradación de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* donde se evidenció que el tratamiento 3 (30 larvas) al tener una probabilidad de error menor de 0.001 es más efectivo a comparación de los otros tratamientos, sin embargo, en la fig. 7

se observa mediante una regresión cuadrática que el número de larvas no presenta una diferencia significativa en la biodegradación de los tratamientos t2 (20 larvas), t3 (30 larvas) y t4 (40 larvas), lo que sugiere que la cantidad de larvas no es proporcional a la cantidad de biodegradación comprobando su confiabilidad en un 97%.

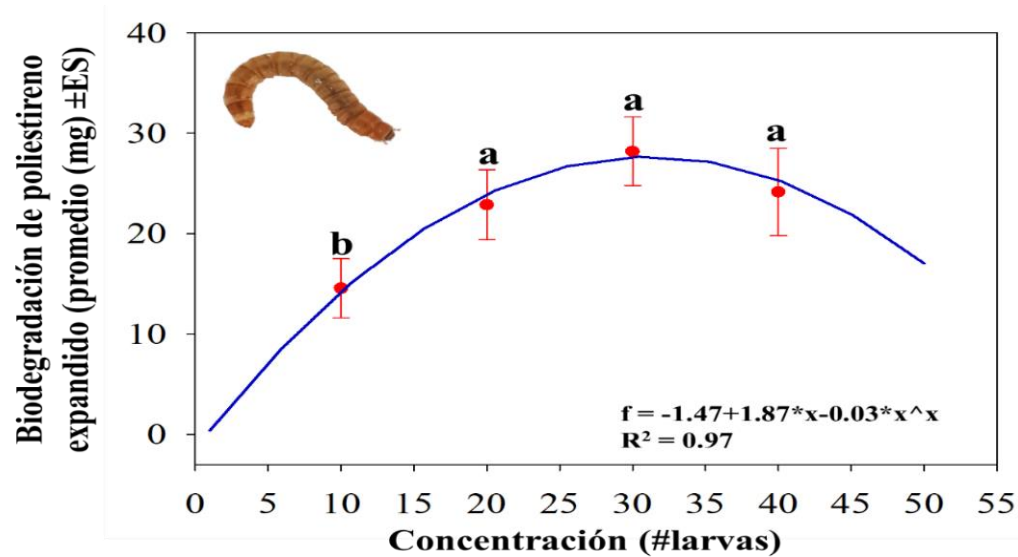


Figura 10. Biodegradación de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor* (coleóptera: tenebrionidae). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos kruskall-wallis ( $\alpha = 0.05$ ). La curva en azul muestra la regresión cuadrática del comportamiento de consumo de *Tenebrio molitor*.

## Discusión

Con base en los objetivos de desarrollo sostenible, específicamente en los numerales 12 y 14 los cuales corresponden a “producción y consumo responsable” y “vida submarina” que promueve, según, (Naciones Unidas, s.f.), al consumo y la producción sostenibles de bienes con menos recursos, creando ganancias netas de las actividades económicas pero reduciendo la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación permitiendo al mismo tiempo una mejor calidad de vida y la conservación de océanos, mares y los recursos marinos.

La investigación permite comprobar otros métodos de degradación para los residuos sólidos derivados del petróleo, que son la principal fuente de contaminación a nivel mundial. Según (Naciones Unidas, s.f.) durante el período 2006-2012 los principales residuos recolectados en el caribe fueron botellas de plástico de bebidas (19,6%), bolsas de plástico y papel (16,9%), tapas y tapones (11,4%), utensilios, vasos y platos (9,6%) y botellas de vidrio (6,7%), cerca del 85% de los residuos sólidos presentes en el mar caribe proviene de derivados del petróleo entre ellos los plásticos siendo uno de los tres principales contaminantes en toda la región del caribe. Al ser el polipropileno uno de los plásticos más utilizados hoy en día presenta una alta demanda global, alrededor de 55 millones de toneladas al año, (market, 2013). Con relación a las importaciones a nivel global de polipropileno en el año 2016 se importaron 19.019.835 toneladas, en el cual china ocupó el primer lugar con 3.021.333 toneladas de polipropileno, seguido de Turquía con 1.622.654 toneladas y Alemania con 835.526 toneladas, (Lemos, 2017).

Por lo que concuerda con el informe de Brundtland donde menciona que, “está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, o sea, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer

las propias”, (Naciones Unidas, 1987). Sin embargo, el desmedido incremento poblacional es la principal amenaza para cualquier intento en la preservación del medio ambiente

Según, (Mayr, 2009), la dinámica de crecimiento poblacional y concentración urbana es una realidad que no deja de causar impactos negativos y requieren de medidas e inversiones para contrarrestar los efectos de la contaminación relacionados con la producción de desechos, la afectación de los ecosistemas acuáticos y terrestres, las numerosas emisiones atmosféricas con sus impactos sobre la calidad del aire y la atmósfera, la acumulación de ruido y la contaminación visual.

En Colombia se cuenta con la política de residuos sólidos que determina: 1.patrones de consumo con producción insostenible de residuos: 2.falta de conciencia y cultura ciudadana sobre el manejo de residuos, sin tener en cuenta el impacto generado en el ambiente, a pesar de la creciente sensibilización; 3.se pierde el potencial de aprovechabilidad de los residuos ya que se mezclan en el origen; 4.falta de apoyo y fortalecimiento del mercado de los productos, el cual se encuentra limitado a algunos sectores; 5. Siempre se enfoca el manejo de los residuos en la disposición final, como es el relleno sanitario;6. Igualmente, otras fases como el transporte, tratamiento, aprovechamiento y almacenamiento (salcedo, 2004).

A la lista de residuos contaminantes se suma “el poliestireno expandido (PE), polímero vinílico que estructuralmente es una cadena hidrocarbonada,  $-\text{[CH}_2\text{CH(C}_6\text{H}_5\text{)]}_n-$ , con un grupo fenilo ( $\text{C}_6\text{H}_5$ ). El PE es actualmente el cuarto plástico más consumido por detrás del poliestireno, el polipropileno y el PVC, además es un residuo contaminante muy resistente a la acción del medio ambiente”, (Rodriguez & Avila, 2015). Este resultado es respaldado por Hocking (1991), quien informó que los productos de espuma PE son inertes a la biodegradación y corroborado con el

resultado obtenido por Kaplan et al. (1968) y gautam et al. (2007), quienes desarrollaron experimentos para degradar pe utilizando diferentes especies de hongos.

Se conoce según, (Bombelli et al, 2017), que este residuo puede ser susceptible a una rápida degradación en el intestino de algunos insectos de orden coleóptera en su etapa larvaria donde se destaca *Tenebrio molitor*. Este insecto se alimenta de hojas en putrefacción y diferentes tipos de pastos, como consumidores de material en descomposición, también comen insectos muertos; usualmente se alimentan de cereales (afrecho y trigo) y sus subproductos; las hembras suelen depositar 250 – 1000 huevos ovalados de color blanco y con forma de riñón, aisladamente o en racimo en los materiales alimenticios, se incuban en un lapso de 4 a 18 días, dando lugar a larvas blancas que van adquiriendo un color amarillento a medida que crecen, cuando están desarrolladas miden de 2.5 a 3.75 cm de largo, a los tres meses la larva ya está desarrollada, su ciclo biológico puede durar entre 9 y 23 meses, este tiempo es variable en vida silvestre mientras que en criadero con parámetros adecuados de temperatura, humedad e iluminación este ciclo puede reducirse hasta 2.5 meses, (Gámez, 2014). En la etapa larval se observa una cutícula algo endurecida que cambia a medida que la larva crece. El tamaño puede alcanzar los 3 cm de largo por 2 mm de grosor y tener unos 0,35g de peso antes de convertirse en crisálidas, (Valdez & Untiveros, 2010).

El consumo de micro plásticos por gusanos de harina fue reportado por primera vez por Chong-guan Chen en 2003, quien encontró que los gusanos de harina podían comer poliestireno extruido, en 2015 señalaron que la espuma de poliestireno podía ser degradada y mineralizada por gusanos de harina y aislar las cepas bacterianas de sus intestinos, para el 2018 investigó más a fondo cómo la temperatura, el tipo de desecho de poliestireno y la nutrición afectaron la supervivencia de las larvas y la tasa de biodegradación de ps, en el 2017 reportó degradación de la película de polietileno por gusanos de harina, en el mismo año analizaron la microbiota intestinal

de los gusanos de harina que comen poliestireno por secuenciación de alto rendimiento y revelaron que tres géneros bacterianos más dominantes fueron alcaligenes, brevundimona y myroides, todos estos estudios indicaron que la espuma de poliestireno y la película de polietileno podrían ser degradadas por gusanos de harina, ofreciendo una nueva opción correctiva para la preocupante contaminación plástica mundial, (Yu Yang et al, 2015).

Los resultados de este proyecto de investigación indican que las larvas de *Tenebrio molitor* pueden ser la alternativa para biodegradar el PE; ya que en la toma de datos se observó que las larvas de *Tenebrio molitor* consumían el poliestireno expandido ocasionando pequeños agujeros en la superficie así mismo se evidencio que su volumen era cada vez menor, igual que su peso, así como en estudios realizados por (yang et al., 2015). En cada tratamiento se observó la efectividad de las larvas de *Tenebrio molitor*, sin embargo, la cantidad de larvas no es directamente proporcional a la cantidad de consumo del poliestireno expandido. Y esto se debe a las bacterias *Citrobacter* sp. Y *kosakonia* sp. Presentes en el intestino de las larvas de *Tenebrio molitor*, (Yu Yang et al, 2015).

Confirmando así lo planteado por, (Anja et al, 2018) ya que estos residuos son la evidencia de la despolimerización y biodegradación del poliestireno expandido producido por el metabolismo de la larva de productos en plásticos derivados del petróleo, (Reyes & Melendez, 2013)



## Conclusiones

- Las larvas de *Tenebrio molitor* tienen la capacidad de consumir el poliestireno expandido en condiciones de laboratorio.
- Se evidencia que el tratamiento 3 (30 larvas) fue el de mayor consumo, seguidos del T4, T2 y T1.
- Las larvas de *Tenebrio molitor* biodegradan el poliestireno expandido en condiciones de laboratorio, de acuerdo con los datos obtenidos.
- La cantidad de consumo de poliestireno expandido por las larvas de *Tenebrio molitor* no es directamente proporcional a la cantidad de biodegradación ya que, en los T2, T3 y T4 no hubo diferencia significativa.
- Según la (BBC, 2015) científicos de la universidad de Stanford, en california confirman que el gusano de harina *Tenebrio molitor* transforma el 50% de la espuma que consumen en CO<sub>2</sub>, y el otro 50% lo excretan como fragmentos biodegradados que pueden ser utilizados como abono natural.

### **Recomendaciones**

- Realizar estudios a pequeña escala para determinar consumo y biodegradación del poliestireno expandido por la larva de *Tenebrio molitor*.
- Realizar estudios para determinar el ciclo de vida del *Tenebrio molitor* en condiciones de laboratorio.
- Analizar los residuos del *Tenebrio molitor* provenientes de la biodegradación del poliestireno expandido con el fin de establecer sus propiedades.

## Referencias

- Alfonso. (2013). Mecanismo. En c. & Lindley, *in search of mechanisms. Discoveries across the life sciences* (págs. 92 - 93). Chicago: universidad de chicago.
- Anja et al. (2018). Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiom. *Environmental science & technology*, 9.
- Arias, j. (2018). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Ingeniería y region vol 19*, 2.
- Bbc. (14 de octubre de 2015). *Bbc mundo*. Obtenido de bbc mundo: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151012\\_ciencia\\_eeuu\\_gusanos\\_plasticos\\_degradacion\\_jg](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151012_ciencia_eeuu_gusanos_plasticos_degradacion_jg)
- Bombelli et al. (2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax. *Current biology*, 292-293.
- Escobar, l. Á. (2000). Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en las metrópolis de américa latina. *Tesina de grado en la especialización de población y*, 7-10.
- Espinoza, g. (2001). *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Santiago - chile: banco interamericano de desarrollo & centro de estudios para el desarrollo.
- Flores et al. (2016). Degradación de polímeros con *Tenebrio molitor*. *Xxvii congreso de investigación cuam-acmor* (pág. 1). Mexico: instituto mexicano madero. Obtenido de xxvii congreso de investigación cuam-acmor:

<http://www.acmor.org.mx/cuamweb/reportescongreso/2016/secundario/carteles/prototipos/degradacion.pdf>

Gómez, g. D. (mayo de 2014). Uso de la larva de tenebrio (*Tenebrio molitor*) como aditivo proteico, en la alimentación de codornices (*coturnix coturnix japonica*) . Guatemala.

Glazer & nikaido. (1995). *Microbial biotechnology: fundamentals of applied microbiology*. New york: freeman and company.

Gudiño, e. (2017). Las industrias del sector poliestireno en el marco del código orgánico de la producción. *Creative commons*.

Halfpter, g. (1994). ¿que es la biodiversidad? *Lletres de batalla*, 6-7.

Hernández et al. (2014). Selección de la muestra. *Metodología de la investigación 6ª edición*, 2.

Hernández, o. (2015). Identificación de problemáticas ambientales en colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. *Revista internacional de contaminación ambiental*.

Instituto de investigación de recursos biológicos alexander von humboldt. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá: panamericana formas e impresos s.a.

Julia martinez & adrián fernández bremauntz. (2004). *Cambio climático: una visión desde méxico*. . Instituto nacional de ecología.

Kilic. (2018). A environmental friendly insect is *Tenebrio molitor* (tenebrionidae: coleoptera). *Advances in ecological and environmental research*, 58-62.

- Kwon. (2014). Regional distribution of styrene analogues generated from polystyrene degradation along the coastlines of the north-east pacific ocean and hawaii". *Environmental pollution*, 45-49.
- Mayr, j. (2009). Ciudades y contaminación ambiental. *Revista de ingeniería*.
- Naciones unidas. (4 de agosto de 1987). *Cmmad*. Obtenido de [http://www.ecominga.uqam.ca/pdf/bibliographie/guide\\_lecture\\_1/cmmad-informe-comision-brundtland-sobre-medio-ambiente-desarrollo.pdf](http://www.ecominga.uqam.ca/pdf/bibliographie/guide_lecture_1/cmmad-informe-comision-brundtland-sobre-medio-ambiente-desarrollo.pdf)
- Naciones unidas. (s.f.). *Comisión económica para américa latina y el caribe*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- Onu. (12 de mayo de 2017). *Naciones unidas*. Obtenido de naciones unidas: <https://news.un.org/es/story/2017/05/1378771>
- Owen, o. (2000). *Conservación de recursos naturales*. Wisconsin: pax mexico.
- Peña, w. (26 de julio de 2018). Caracterización del poliestireno expandido residual a nivel global: una revisión de la literatura. *Researchgate*, 1. Obtenido de researchgate.
- Pérez, g. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a colombia. *Fundación universidad autónoma de colombia*, 83.
- Pnud. (10 de mayo de 2020). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de programa de las naciones unidas para el desarrollo: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

- Reyes & melendez. (18 de junio de 2013). Contenido de proteina, gracia, calcio, fosforo en larvas de escarabajo molinero. (trabajo de grado). San salvador, el salvador.
- Rodriguez & avila. (2015). Análisis cromatográfico de combustibles obtenidos a partir de desechos plásticos. *Jovenes en la ciencia*, 1865 - 1868.
- Rojas, a. (3 de octubre de 2017). *Evolución: visión general de la biología evolutiva en la medicina*. Obtenido de conogasi: <http://conogasi.org/articulos/evolucion-vision-general-de-la-biologia-evolutiva-en-la-medicina/>
- Ross, s. (2018). *Introducción a la estadística*. Barcelona, españa: reverté s.a.
- Runfola, j. & gallardo, a. (2009). Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas . *Redisa*.
- Samper, m.d et al (2008). Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido . *I simposio iberoamericano de ingeniería de residuos* , 1.
- Sans & ribas . (1989). *Ingeniería Ambiental: contaminación y tratamientos*. Barcelona (españa): marcombo s.a.
- Valdez & untiveros. (2010). Extracción y caracterización del aceite de las larvas del Tenebrio molitor. *Rev soc quím Perú.*, 408.
- Valero valdivieso & et al. (2013). Biopolymers: progress and prospects. *Dyna*, 80 (181), 171-180.
- Yang et al. (2018). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of Tenebrio molitor linnaeus): factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. En s. Yang, *chemosphere*, (págs. 979–989).

Yu yang et al. (2015). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental science & technology*, 12082.

## Anexos.

Anexo 1. Formato de toma de datos. Fuente: autor

Tratamiento	Replicas	Fecha	Consumo de poliestireno	Biodegradación de poliestireno
1	1			
1	2			

Anexo 2. Registro fotográfico. Fuente: autor





